干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2018.04.22

基于改进当量的甘肃省耕地生态系统服务价值及其与区域经济发展的空间关系研究①

赵鸿雁[1]， 陈 英[1,2]， 杨 洁[3]， 裴婷婷[2]，
（1 甘肃农业大学资源与环境学院，甘肃 兰州 730070； 2 甘肃农业大学管理学院，甘肃 兰州 730070；
3 甘肃农业大学草业学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：为量化分析耕地生态系统服务价值及其与区域经济发展的空间关系，采用改进的耕地当量因子，对甘肃省2014年耕地生态系统服务价值进行定量化研究，并采用双变量空间自相关探讨其与区域经济发展在空间上的关联关系。结果表明：（1）在GPP修正的基础上估算得到的甘肃省2014年耕地生态系统服务价值为4.96×10^{11}元，其中水资源供给功能的价值为负，食物生产功能的生态系统服务价值相对较高，美学景观功能的生态系统服务价值最低。（2）双变量空间自相关显示人均国内生产总值与耕地生态系统服务价值在空间上存在显著的负相关关系，Moran's I指数为-0.252 3。局部双变量空间自相关LISA图也显示低—高聚集区主要分布在经济发展相对落后、具有明显生态优势的东南部地区；而高—低聚集区则主要分布在经济高速发展，生态环境相对恶劣的西北部地区。研究结果可为甘肃省生态环境管护与区域经济发展提供决策参考，为实现经济增长与生态保护统筹协调发展提供参考依据。

关 键 词： 生态系统服务价值；区域经济发展；双变量空间自相关；甘肃省
中图分类号： F301.24　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**

生态系统服务是自然生态系统与社会经济系统联系的重要桥梁，一直以来备受关注[1-4]。耕地作为社会经济发展的稳定器，随着人类对其提供的低价甚至无偿服务消费的增加，其提供服务的能力减弱，生态系统服务价值降低，严重威胁着区域生态系统安全[5-6]。目前学术界关于耕地生态系统服务价值的研究主要集中在不同尺度上运用能值分析法、物质量评价、价值量评价[7-8]以及生态模型[9-10]的方法对其价值量的估算[11-13]，时空分异特征与驱动因素以及影响因素[14-16]等方面。就估算方法来说，能值分析法没有统一的折算标准，对数据要求高[17]；物质量评价由于单位量纲的不同导致加和汇总计算困难且很难直观判断[18]；而价值量评价则由于其结果有利于纳入国民经济核算体系而被广泛运用，主要可分为功能价值法与当量因子法[8,19]。功能价值法输入参数较多，计算过程复杂，对于每种服务价值的评价方法和参数难以统一[20-22]；当量因子法则较为直观易用，数据需求少，特别适用于区域尺度生态系统服务价值的评估[23-24]。在当今经济高速发展、人类活动强烈驱动生态系统服务供给能力变化的条件下，关于耕地生态系统服务价值与区域经济发展之间空间关系的研究非常少有，相关研究以COSTANZA与GDP的比较研究为起点，随后采用相关系数法来衡量的较多[25-26]。

考虑到区域差异与当量因子法的简便性，鉴于全国大尺度上的耕地当量因子运用于甘肃省后既要与全国大尺度紧密相关又要与贴合甘肃省实际，本研究继续采用谢高地等人的旱地与水田的单位面积生态服务价值当量因子[19]，结合相关对于甘肃省水浇地的研究、水浇地在甘肃省的重要地位以及15位专家经验，来确定水浇地单位面积生态服务价值当量因子；并结合GPP数据对其进行修正，从而得到甘肃省耕地生态系统的单位面积生态系统服务价值当量因子，实现耕地当量因子的改进及其在甘肃省的本土化；进一步运用双变量空间自相关探讨耕地生态系统服务价值与区域经济发展空间上的关系。

① **收稿日期：**2018-01-12； **修订日期：**2018-04-23
基金项目：国家自然科学基金项目(71563001)资助
作者简介：赵鸿雁，女，硕士研究生，主要从事农业生态学方面的研究. E-mail：glzlqw211117@126.com
通讯作者：陈英，男，生态学博士，副教授，主要从事土地生态学及土地资产管理研究. E-mail：cheny@gsau.edu.cn

1 研究区概况

甘肃省位于我国西北部黄河上游地区，介于93°13′~108°46′ E, 32°11′~42°57′ N，其独特又复杂的地理气候使全省生态环境相对脆弱又具多样性。全省耕地面积较大，2014 年年末耕地面积达到 $3.546\ 8\times10^6$ hm^2，水田面积 6.8×10^3 hm^2，有效灌溉面积为 $1.160\ 5\times10^6$ hm^2，旱地面积 3.5×10^5 hm^2。全省耕地总体特征为旱地多、水浇地少，山地多、川(塬)地少，人均耕地保有量较大，生产力水平低。全省水土分布错位，甘南、陇南水资源多，土地条件差，河西地区土地条件好，水资源缺乏。2010 年以来，经济发展迅速，人均生产总值从 16 172 元增长到 26 433 元，拟合公式为 $y=2\ 553.6\ x+14\ 088$，R^2 值达到 0.99。

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 当量因子法及其改进 本研究对耕地生态系统服务价值的计量主要参考千年生态系统评估(MA)与谢高地等人对生态系统服务的分类[19]，依据 COSTANZA 等人对生态系统服务价值的计算思想[25]，将区域生态系统服务价值量定义为：

$$ESV=\sum_{k=1}^{n}A_k\times VC_k \quad (1)$$

式中：ESV 为生态系统服务价值(10^4 元)；A_k 为研究区第 k 类土地利用类型的面积(hm^2)；VC_k 为生态系统价值系数(元·hm^{-2})。

耕地作为人类赖以生存的基本资源和条件，《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)将耕地分为旱地、水浇地和水田 3 个二级类。考虑到与全国水平下旱地的生态系统服务价值系数作比较、甘肃省水田分布非常少，2014 年水田面积仅占耕地面积的 1.9%，故旱地与水田的生态系统服务价值系数计算充分借鉴谢高地等人[19]的研究结果。

对于甘肃省水浇地单位面积生态系统服务价值当量主要结合实物量法与专家打分法进行确定。实物量法主要是针对食物生产功能当量因子的确定，参考 2014 年水浇地与旱地上小麦与玉米的平均产量(旱地：2 758.5 kg·hm^{-2}，5 786.4 kg·hm^{-2}；水浇地：5 985 kg·hm^{-2}，13 808.3 kg·hm^{-2})和小麦与玉米的播种面积占比(43.9%：56.1%)[27]，从旱地的角度出发，结合甘肃省广泛分布的旱地的当量因子，进行加权平均；从水田的角度出发，根据具备正常灌溉设施的水浇地在 70% 的情况下可以正常灌溉[28-29]，对水田的当量因子进行修正，最后求平均得到水浇地食物生产功能的单位面积生态系统服务价值当量。水浇地的其他各项生态系统服务功能当量因子的确定根据其相对于食物生产功能的权重大小以及 15 位专家打分的方法确定。最终得到甘肃省耕地二级分类下生态系统服务价值当量如表 1 所示。

对各项服务功能价值量的确定，依据当量因子法的思想：定义 1 个标准当量因子的生态服务价值量为单位面积农田生态系统粮食生产的净利润。采用作为甘肃省三大主要粮食作物的小麦、玉米和薯类来衡量耕地生态系统粮食产量的价值：

$$D=S_w\times F_w+S_c\times F_c+S_t\times F_t \quad (2)$$

式中：D 表示 1 个标准当量因子的生态系统服务价值量(元·hm^{-2})；S_w、S_c、S_t 分别表示当年小麦、玉米和薯类的播种面积占 3 种作物总播种面积的百分比(%)；F_w、F_c、F_t 分别表示全国小麦、玉米和薯类的单位面积平均利润(元·hm^{-2})。

2.1.2 *GPP* 修正方法 利用甘肃省平均生态系统总初级生产力(*GPP*)数据，以及甘肃省各县域的 *GPP* 数据，对甘肃省单位面积生态系统服务价值当量因子进行修正，计算公式如下所示：

表 1 甘肃省耕地单位面积生态系统服务价值当量

Tab.1 System service value equivalent of unit area of cultivated land in Gansu Province

生态系统分类	供给服务			调节服务				支持服务		文化服务
二级分类	食物生产	原料生产	水资源供给	气体调节	气候调节	净化环境	水文调节	土壤保持	维持养分循环	生物多样性	美学景观
旱地	0.85	0.4	0.02	0.67	0.36	0.1	0.27	1.03	0.12	0.13	0.06
水田	1.36	0.09	-2.63	1.11	0.57	0.17	2.72	0.01	0.19	0.21	0.09
水浇地	1.27	0.06	-1.84	0.89	0.47	0.14	1.9	0.01	0.16	0.17	0.08

$$GPP_i = \frac{GPP_j}{GPP_G}(i,j=1, 2, \cdots, 87) \qquad (3)$$

式中:GPP_i 是指甘肃省 87 个县区的 *GPP* 调节因子。GPP_j 指甘肃省 87 个县区的 *GPP* 值,GPP_G 是指甘肃省平均 *GPP* 值。

2.2 数据来源

鉴于最近年份的某些所需数据无法获取,会导致研究结果有所差异,故本研究均采用 2014 年数据。其中 2014 年粮食播种面积数据及耕地二级类的面积数据来源于《甘肃省统计年鉴》。粮食产品的平均利润数据来源于 2014 年《全国农产品成本收益资料汇编》。2014 年全年 8 d 时长的甘肃省生态系统总初级生产力(*GPP*)数据来源于 MODIS 数据产品 MOD17A2,由美国 LP DAAC(Land Process Distributed Active Archive Center, U. S. A)提供,采用美国 USGS EROS 数据中心开发的 MRT 几何纠正与镶嵌软件,完成对图像的几何纠正与重采样。

3 结果与分析

3.1 甘肃省耕地生态系统服务价值

鉴于 *GPP* 数据能够较准确的反映一个地区耕地生态系统生产力的大小,且 *GPP* 是生态系统中其他生物成员生存和繁衍的物质基础[30]。本文利用 MODIS 数据产品 MOD17A2 所提供的 *GPP* 数据,在运用 MRT、MATLAB、ArcGIS10.2 软件对 *GPP* 数据进行相应处理的基础上,计算得到甘肃省 2014 年全年 *GPP* 平均值空间分布情况如图 1 所示。

由图 1 可以看出,对甘肃省 *GPP* 值贡献较大的主要位于甘肃省东南部地区与河西走廊地区。对东南部地区来说,其与甘肃省西北地区的差距和全国 400 mm 等降水量线紧密相关,降水量相对较多,且以种植业为主,故而 *GPP* 值相对较高。对于河西走廊地区来说,作物的种植结构与比例、耕地质量、尤其是良好的农业灌溉条件对该地区 *GPP* 值的影响较大。河西走廊地区同甘肃省内其他地区一样,年降雨量不足 200 mm,但祁连山冰雪融水非常丰富,在整个走廊地区形成石羊河、黑河和疏勒河三大内流水系,为该区绿洲农业的发展提供了良好的灌溉条件,使整个河西走廊地区绿洲农业非常发达。故采用 *GPP* 数据对耕地生态系统服务价值进行修正能更好的反映其所提供的生态系统服务价值的大小,从而实现其在甘肃省的本土化。

根据 *GPP* 修正公式,在实现对当量因子修正的基础上,结合甘肃省 2014 年旱地、水浇地与水田的分布面积以及生态系统服务价值公式,计算得到甘肃省 2014 年各县域的耕地生态系统服务价值,如图 2 所示。

由图 2 可以看出,甘肃省耕地生态系统服务价值较高的区域主要分布在白银市、陇南市、天水市和庆阳市,河西走廊中的武威市与张掖市部分地区的也较高。甘肃省水田主要分布在陇中、陇东地区与河西走廊部分地区,尤其以白银市和陇南市为主,2014 年水田面积分别达到整个甘肃省水田面积的 48.56% 与 42.73%,并且分布着大量的旱地。河西走廊部分地区耕地生态系统服务价值较高主要归功于其广泛分布的水浇地。

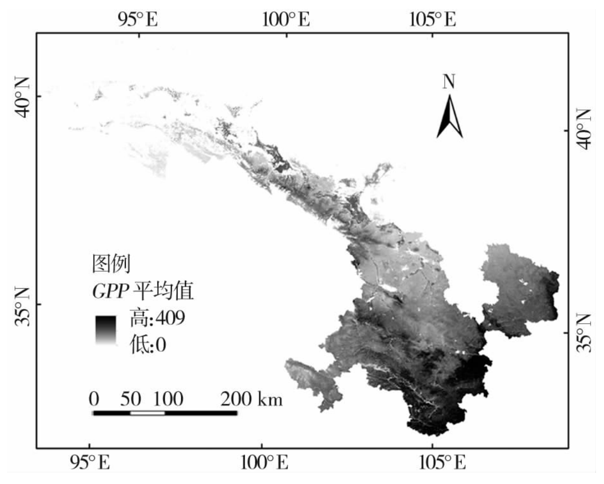


图 1 甘肃省 2014 年 *GPP* 平均值空间分布图

Fig. 1 Spatial distribution of the average value of *GPP* in Gansu Province in 2014

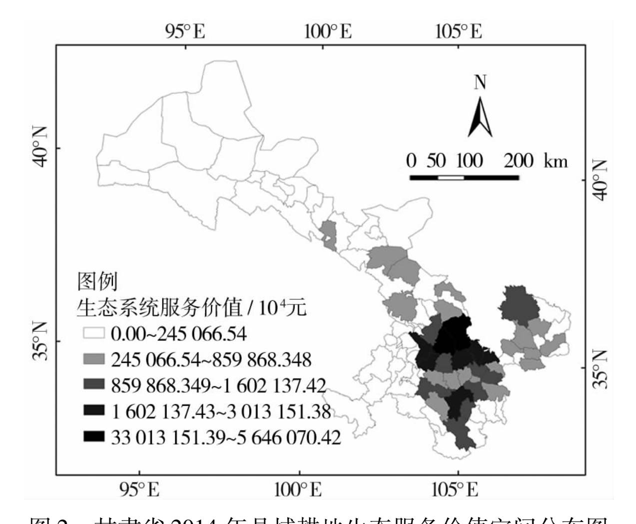


图 2 甘肃省 2014 年县域耕地生态服务价值空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of ecosystem service value of cultivated land in counties of Gansu Province in 2014

临夏回族自治州、甘南藏族自治州和酒泉市的肃北蒙古族自治县与阿克塞哈萨克族自治县的耕地生态系统服务价值则相对较低，这与该地区作物种植以及耕地类型的分布紧密相关，肃北地区没有水田分布，旱地与水浇地面积相对于酒泉其他县域来说也非常低，占到酒泉市水浇地面积的 0.49%、旱地面积的 8.83%，阿克塞哈萨克族自治县的水浇地只占到酒泉市水浇地面积的 0.18%，并无水田与旱地分布。临夏回族自治州与甘南藏族自治州耕地生态系统服务价值普遍较低，并且除卓尼县以外，其他县域均无水田，玛曲县又无耕地，导致整个区域耕地生态系统服务价值较低。

根据以上县域耕地生态系统服务价值汇总得到甘肃省耕地生态系统所提供的各项生态系统服务价值的大小及其占比情况如表 2 所示。甘肃省 2014 年

表 2　甘肃省 2014 年耕地各项生态系统服务价值

Tab. 2　Ecosystem service value of the cultivated land in Gansu Province in 2014

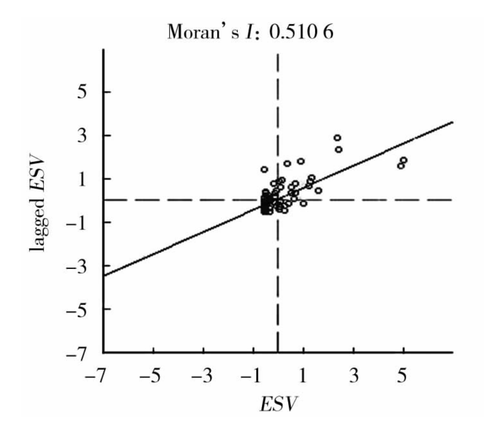
生态系统服务分类		甘肃省耕地生态系统服务价值 / 元	占比 / %
一级分类	二级分类		
供给服务	食物生产	1.52×10^{11}	30.61
	原料生产	2.73×10^{10}	5.50
	水资源供给	-1.52×10^{11}	-30.25
调节服务	气体调节	1.11×10^{11}	22.29
	气候调节	5.88×10^{10}	11.84
	净化环境	1.71×10^{10}	3.44
	水文调节	1.71×10^{11}	34.50
支持服务	土壤保持	5.84×10^{10}	11.76
	维持养分循环	1.99×10^{10}	4.01
	生物多样性	2.13×10^{10}	4.29
文化服务	美学景观	9.93×10^{9}	2.00
总计		4.96×10^{11}	100.00

年耕地生态系统服务价值为 4.96×10^{11} 元，其中水资源供给功能的生态系统服务价值为负值，这主要是由于甘肃省年降雨量与蒸发量相差悬殊，而甘肃省河西走廊地区发达灌溉农业的用水主要来源于祁连山冰雪融水，耕地自身提供给生态系统的水分相对于其消耗的水分非常少，导致整个耕地生态系统水资源供给功能呈现负值。除此之外，食物生产功能相对较高，占比 30.61%，美学景观功能最低，占比 2.00%。

3.2　甘肃省耕地生态系统服务价值与区域经济发展的空间关系

鉴于人均国内生产总值（即"人均 GDP"）作为最重要的宏观经济指标之一，常作为发展经济学中衡量经济发展状况的指标，因此本研究采用人均国内生产总值来代表区域经济发展的良好程度。

3.2.1　耕地生态系统服务价值和人均国内生产总值的单变量空间自相关分析　基于 GEODA 095i 和 ArcGIS10.2 软件对甘肃省 2014 年耕地生态系统服务价值和人均国内生产总值分别进行单变量全局空间自相关分析，如图 3 所示。甘肃省 2014 年耕地生态系统服务价值的 Moran's $I=0.510\ 6$，在 $\alpha=0.05$ 的显著性水平下，Z 检验值为 7.130 6，大于 1.96，采用蒙特卡罗模拟的方法检验得到 $p=0.000\ 2$，即在 99.98% 的置信度下的空间自相关显著；人均 GDP 的 Moran's $I=0.604\ 1$，在 $\alpha=0.05$ 的显著性水平下，Z 检验值为 8.353 0，大于 1.96，采用蒙特卡罗模拟的方法检验，$p=0.000\ 1$，即在 99.99% 的置信度下的空间自相关显著；表明甘肃省各县域耕地生态系统服务价值和人均 GDP 分别存在显著的空间正相关关系。



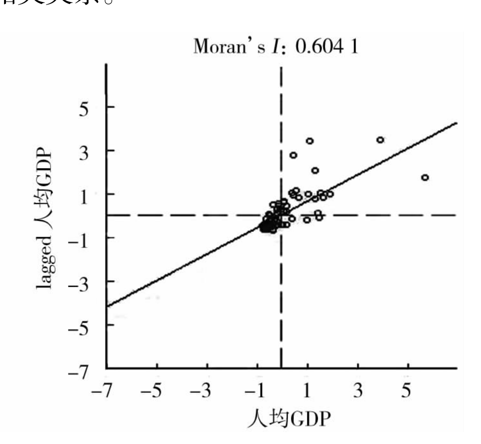


图 3　甘肃省 2014 年耕地生态系统服务价值与人均 GDP 的全局空间自相关分析

Fig. 3　Global spatial autocorrelation analysis of ecosystem service value of the cultivated land and per capita GDP in Gansu Province in 2014

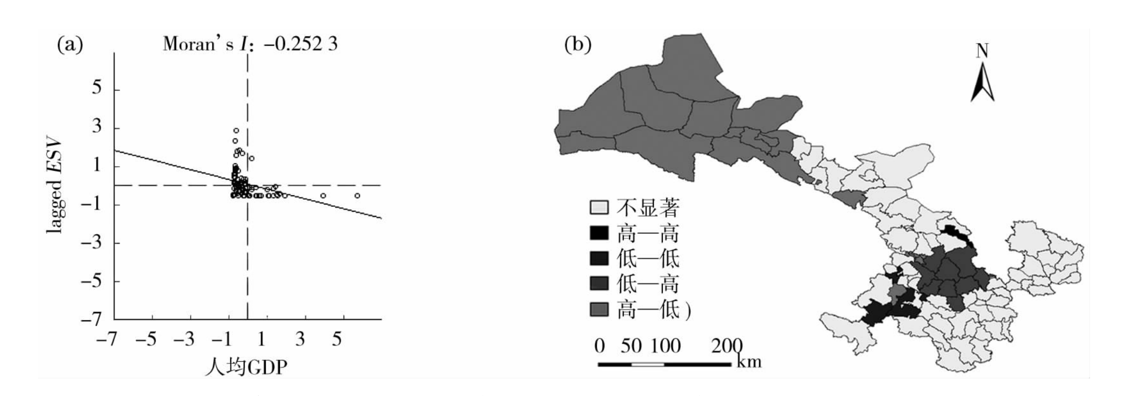


图 4　甘肃省 2014 年耕地生态系统服务价值与人均国内生产总值的全局和局部双变量空间自相关分析

Fig. 4　Global and local bivariate spatial autocorrelation analysis of ecosystem service value of the cultivated land and per capita GDP in Gansu Province in 2014

3.2.2　耕地生态系统服务价值与人均国内生产总值的双变量空间自相关分析　由于甘肃省各县域的耕地生态系统服务价值和人均国内生产总值相互之间在空间上存在着关联性，本研究采用双变量空间自相关分别从全局和局部对二者在空间上的关联特征进行分析，结果如图 4 所示。由图 4a 可以看出，全局 Moran's $I=-0.2523$，在 $\alpha=0.05$ 的显著性水平下，Z 检验值为 -4.1626，小于 -1.96，采用蒙特卡罗模拟的方法检验，$p=0.0001$，即在 99.99% 的置信度下的空间负相关关系显著。表明甘肃省各县域耕地生态系统服务价值与人均国内生产总值之间存在显著的空间负相关关系，二者之间存在着权衡关系，耕地生态系统服务价值的提高会影响人均 GDP 的提高，甚至也会造成人均 GDP 的降低；反之亦然。比如人均 GDP 的增长势必会驱动区域土地利用类型发生变化，使得具有高生态系统服务价值的耕地转变为具有低生态系统服务价值的建设用地非常普遍[31]，这也是经济快速发展，非农人口向城镇聚集的必然结果。

由图 4b 局部 LISA 聚集图可以得到高—高区为白银市的平川区，低—低区为甘南藏族自治州的碌曲县、卓尼县与临夏回族自治州的临夏县，其自身的人均 GDP 与邻域的耕地生态系统服务价值之间存在着空间正相关关系。分布在定西市的低—高区与分布在张掖市肃南裕固族自治县和酒泉市的高—低区，这些区域的人均国内生产总值与耕地生态系统服务价值之间存在较强的空间负相关关系。低—高区是被较高的耕地生态系统服务价值包围的人均国内生产总值较低的地区，高—低区则是被较低的耕地生态系统服务价值包围的人均国内生总值较高的地区。以上 4 类聚集区均达到了 95% 的置信度水平，集中在西北部的高—低区与东南部的低—高区进一步证实了甘肃省各县域人均国内生产总值与耕地生态系统服务价值空间上的异质性。低—高区周围地区生态优势明显，自身则由于山多地少、水土流失严重，严重制约着区域经济的发展；高—低区周围主要是以发展绿洲农业为主的河西走廊，祁连山冰雪融水对种植业具有明显的优势，并且河西走廊一带地广人稀，经济发展迅速；其自身则由于戈壁、荒漠的分布导致其耕地生态系统服务价值较低。

4　讨 论

本研究考虑到在国内比较权威的生态系统服务价值评估方法——当量因子法的简便性以及数据的可获取性[19]，选取改进当量因子法的手段实现对甘肃省耕地生态系统服务价值的估算，这样既可以为具有区域特色地区的生态系统服务价值估算提供相应的参考，也可以避免其他估算方法对数据的高需求、高标准以及数据处理上的高难度[8]。

甘肃省经济发展相对落后、生态环境相对脆弱、水土分布错位，耕地的重要地位突出。耕地生态系统服务价值计算过程中旱地与水田的当量因子采用全国尺度下的当量因子，鉴于甘肃省甘南、陇南地区水土流失严重，且旱地大部分以坡耕地为主，计算结果可能会偏大。本研究计算得到的甘肃省 2014 年的耕地生态系统服务价值为 4.96×10^{11} 元，李冬玉等人研究得到陕西省 2009 年耕地生态系统服务价值为 2.79×10^{11} 元[13]。由此可得，自 2008 年全国大范围实施土地整治项目，甘肃省极响应土地整治政策，于 2013 年开展了大规模的东部百万亩土地整治重大项目，土地整治后不仅耕地面积有所增加，坡

耕地改为梯田也有效的缓解了该区的水土流失问题,使得耕地的土壤保持功能增强,从各方面提高了其提供生态系统服务的能力,从而使耕地生态系统服务价值增加。

双变量空间自相关结果显示,人均国内生产总值与耕地生态系统服务价值之间存在显著的空间负相关关系。姚小薇等人研究得到人口城镇化、空间城镇化和生活城镇化均与土地生态服务价值存在空间负相关关系[31]。由于城市化是经济发展的必然趋势,就人均国内生产总值与耕地生态系统服务价值低—高区聚集的甘肃省东南部而言,应该严格控制新增建设用地占用城市周边耕地,提高土地的集约节约利用;提高土地整治的生态效益,有效治理水土流失问题,实现经济又好又快的发展。而对于高—低区的甘肃省西北部而言,地广人稀,应合理开发利用未利用地;经济发展相对较快的河西走廊地区依靠祁连山冰雪融水发展绿洲灌溉农业,水资源相对缺乏,故应合理高效配置与利用水资源,加大生态治理力度,提高耕地生态系统服务价值,实现经济增长与生态保护统筹协调发展。

5 结 论

(1) 本研究基于改进的耕地单位面积生态系统服务价值当量因子对甘肃省 2014 年的耕地生态系统服务价值进行了估算,实现了运用当量因子法估算耕地生态系统服务价值在甘肃省的本土化。研究得到甘肃省 2014 年耕地生态系统服务价值为 4.96×10^{11} 元,其中水资源供给功能的价值为负值。除此之外,食物生产功能的生态系统服务价值相对较高,美学景观功能的生态系统服务价值最低。

(2) 通过对能够较好代表区域经济发展良好程度的人均国内生产总值和耕地生态系统服务价值进行单变量空间自相关得到,二者在空间上分别呈现出显著的正相关关系。进一步运用双变量空间自相关对二者在空间上的关联性进行分析得到,二者之间在空间上存在着显著的负相关关系。局部双变量空间自相关 LISA 图也显示低—高聚集区主要分布在经济发展相对落后、具有明显生态优势的东南部地区;而高—低聚集区则主要分布在经济高速发展,生态环境相对恶劣、分布有砾漠和戈壁滩的西北部地区。本研究可为甘肃省生态环境管护与区域经济发展提供决策参考,为实现经济增长与生态保护统筹协调发展提供参考依据。

参考文献(References)

[1] 彭建,胡晓旭,赵明月,等. 生态系统服务权衡研究进展:从认知到决策[J]. 地理学报,2017,72(6):960-973. [PENG Jian, HU Xiaoxu, ZHAO Mingyue, et al. Research progress on ecosystem service trade-offs: From cognition to decision-making[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(6):960-973.]

[2] 傅伯杰,张立伟. 土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J]. 地理科学进展,2014,33(4):441-446. [FU Bojie, ZHANG Liwei. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress[J]. Progress in Geography, 2014, 33(4):441-446.]

[3] 付意成,杜霞,彭文启,等. 流域农业土地生态价值内涵及应用分析[J]. 农业工程学报,2015,31(8):243-250. [FU Yicheng, DU Xia, PENG Wenqi, et al. Agro-ecosystem value connotation based on watershed land use[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(8):243-250.]

[4] MA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and human well-being: Synthesis[M]. Washington, DC: Island Press, 2005.

[5] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 生态系统服务的供给、消费和价值化[J]. 资源科学,2008,30(1):93-99. [XIE Gaodi, ZHEN Lin, LU Chunxia, et al. Supply, consumption and valuation of ecosystem services in China[J]. Resources Science, 2008, 30(1):93-99.]

[6] KADA R Yohei. Valuation of non-marketed agricultural ecosystem services, and food security in southeast Asia[M]. Tokyo: Springer Japan, 2014:111-121.

[7] 鲁的苗. 基于能值分析的无锡市生态系统健康评价研究[D]. 南京:南京大学. 2017. [LU Dimiao. The research of urban ecosystem health assessment in Wuxi City based on energy analysis[D]. Nanjing: Nanjing University, 2017.]

[8] 赵景柱,肖寒,吴刚. 生态系统服务的物质量与价值量评价方法的比较分析[J]. 应用生态学报,2000,11(2):290-292. [ZHAO Jingzhu, XIAO Han, WU Gang. Comparison analysis on physical and value assessment methods for ecosystems services[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(2):290-292.]

[9] 李敏. 基于 InVEST 模型的生态系统服务功能评价研究[D]. 北京:北京林业大学. 2016. [LI Min. Ecosystem services evaluation based on Invest model: A case study of Yanqing, Beijing[D]. Beijing: Beijing Forestry University, 2016.]

[10] 杨圆圆,戴尔阜,付华. 基于 InVEST 模型的生态系统服务功能价值评估研究框架[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2012,33(3):41-47. [YANG Yuanyuan, DAI Erfu, FU hua. The assessment framework of ecosystem service value based on InVEST model[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2012, 33(3):41-47.]

[11] 王金伟. 双鸭山市土地利用变化对生态系统服务价值的影响

研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.[WANG Jinwei. Research on land utilization to the value of the ecosystem services of the effect in Shuangyashan[D]. Harbin:Northeast Agricultural University,2015.]

[12] 唐秀美,潘瑜春,程晋南,等.高标准基本农田建设对耕地生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报,2015,35(24):8009-8015.[TANG Xiumei,PAN Yuchun,CHENG Jinnan,et al. Impact of high-standard prime farmland construction on ecosystem service value in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica,2015,35(24):8009-8015.]

[13] 李冬玉,任志远,刘宪锋,等.陕西省耕地生态系统服务价值动态测评[J]. 干旱区资源与环境,2013,27(7):40-45.[LI Dongyu,REN Zhiyuan,LIU Xianfeng,et al. Dynamic change of ecological service value of cultivated land in Shaanxi Province[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment,2013,27(7):40-45.]

[14] 李广,黄高宝,王琦,等.陇东耕地净第一性生产力及生态服务价值的时空分异研究[J].草业学报,2011,20(6):18-25.[LI Guang,HUANG Gaobao,WANG Qi,et al. Spatial-temporal distribution of the ecological service value and NPP of cultivated land on Longdong Loess Plateau[J]. Acta Prataculturae Sinica,2011,20(6):18-25.]

[15] 陈彧.湖北省土地生态服务价值时空分异及驱动因素研究[D].武汉:中国地质大学,2015.[CHEN Yu. Study on spatial-temporal differentiation of land ecosystem service value and the driving factors in Hubei Province[D]. Wuhan:China University of Geosciences,2015.]

[16] 高婧明.成都市耕地生态系统服务价值支付意愿及其影响因素研究[D].成都:四川农业大学,2015.[GAO Jingming . The study of the payment willingness and influencing factor of plough eco-system service in Chendu[D]. Chengdu:Sichuan Agricultural University,2015.]

[17] 刘世梁,安南南,王军.土地整理对生态系统服务影响的评价研究进展[J].中国生态农业学报,2014,22(9):1010-1019.[LIU Shiliang,AN Nannan,WANG Jun. Research progress on the effects of land consolidation on ecosystem services[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2014,22(9):1010-1019.]

[18] 张晓锁.基于生态系统服务理论的土地整理生态效益研究[D].武汉:华中农业大学,2009.[ZHNG Xiaosuo. Study on the eco-benefits of land consolidation upon the ESV theory[D]. Wuhan:Huazhong Agricultural University,2009.]

[19] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,(8):1243-1254.[XIE Gaodi,ZHANG Caixia,ZHANG Leiming,et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources,2015,(8):1243-1254.]

[20] YU Z Y,BI H. The key problems and future direction of ecosystem services research[J]. Energy Procedia,2011,(5):64-68.

[21] YU Z Y,BI H. Status quo of research on ecosystem services value in China and suggestions to future research[J]. Energy Procedia,2011,(5):1044-1048.

[22] SUN J. Research advances and trends in ecosystem services and evaluation in China[J]. Procedia Environmental Sciences,2011,(10):1791-1796.

[23] COSTANZA R,GROOT R,SUTTON P,et al. Changes in the global value of ecosystem services[J]. Global Environmental Change,2014,(26):152-158.

[24] WANG W J,GUO H C,CHUAI X W,et al. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution[J]. Environmental Science & Policy,2014,44:62-72.

[25] CONSTANZA R,ARGE R,GROOT R,The Value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature,1997,386:253-260.

[26] 贺申泰.基于土地利用的生态服务价值估算及其与经济发展的关系[J].湖北民族学院学报(自然科学版),2012,30(4):462-465.[HE Shengtai. Interrelationship between economy index and ecological service value based on land use[J]. Journal of Hubei University for Nationalities(Natural Science Edition),2012,30(4):462-465.]

[27] 刘会芳.苜蓿、小麦和玉米的经济效益分析——以甘肃省农户为例[D].兰州:兰州大学,2016.[LIU Huifang. The productive efficiency of alfalfa,wheat and maize:A case study of households in Gansu Province[D]. Lanzhou:Lanzhou University,2016.]

[28] 董婷婷,王振颖,武玉峰.水浇地与旱地分类的研究进展[J].遥感信息,2010,(110):127-132.[DONG Tingting,WANG Zhenying,WU Yufeng. Progress in the research on classification of irrigated land and dry land[J]. Remote Sensing Information,2010,(110):127-132.]

[29] 靳彦华,熊黑钢,张芳.水浇地与旱地春小麦冠层高光谱反射特征比较[J].国土资源遥感,2014,26(3):24-30.[JIN Yanhua,XIONG Heigang,ZHANG Fang. Comparative study of canopy spectral reflectance characteristics of spring wheat in irrigated land and dry land[J]. Remote Sensing for Land and Resources,2014,26(3):24-30.]

[30] 曹宗龙.安徽省植被潜在生产力探究[J].绵阳师范学院学报,2011,30(2):77-83.[CAO Zonglong. On potential productivity of vegetation in Anhui Province[J]. Journal of Mianyang Normal University,2011,30(2):77-83.]

[31] 姚小薇,曾杰,李旺君.武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J].农业工程学报,2015,31(9):249-256.[YAO Xiaowei,ZENG Jie,LI Wangjun. Spatial correlation characteristics of urbanization and land ecosystem service value in Wuhan urban agglomeration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2015,31(9):249-256.]

Ecosystem service value of cultivated land and its spatial relationship with regional economic development in Gansu Province based on improved equivalent

ZHAO Hong-yan[1], CHEN Ying[1,2], YANG Jie[3], PEI Ting-ting[2]

(1 College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;
2 College of Management, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China;
3 College of Rangeland Science, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Ecosystem service links the natural ecosystems and socioeconomic systems, and it is a hot topic in ecology, geography and other disciplines. The cultivated land ecosystem is closely related to the national food security, therefore, to quantify the ecosystem service value of cultivated land and analyze its relationship with regional economic development have great significance. This study uses an improved equivalent factor of cultivated land to quantify the ecosystem service value of cultivated land in Gansu Province, China, in 2014, and uses the method of spatial autocorrelation to explore the spatial relationship between the cultivated land ecosystem service value and regional economic development at the county scale. The results showed at follows: (1) As a supply land of the major food, the ecosystem service value of cultivated land of Gansu Province was 4.96×10^{11} yuan in 2014, and its food production function is relatively high, and the relatively backward economy has basically resulted in its relatively low aesthetic landscape function. (2) The univariate spatial autocorrelation indicated a significant positive correlation in space between its per capita GDP and the ecosystem service value of cultivated land in the areas with good regional economic development. The bivariate spatial autocorrelation indicated a significant negative correlation in space between its per capita GDP and the ecosystem service value of cultivated land. And the Moran's I index is 0.510 6 and 0.604 1 respectively. The global Moran's I index is −0.252 3. The local bivariate spatial autocorrelation LISA map also shows that the Low-High areas were mainly distributed in the southeastern area where the economic development is relatively backward and there is obvious ecological advantages; however, the High-Low areas were basically the opposite. This research can provide decision-making reference for ecological environment management and protection and regional economic development of Gansu Province, and can also provide reference for the coordinated development of economic growth and ecological protection.

Key words: ecosystem service value (*ESV*); regional economic development; bivariate spatial autocorrelation; Gansu Province